FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1962 N° 1225

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

par

MARIE-PIERRE LIOT, née DESCROIX

née le 1er janvier 1936, à Casablanca (Maroc)

présentée et soutenue publiquement le novembre 1962

ÉTUDE DES VARIATIONS DU VOLUME CARDIAQUE AU COURS ET AU DÉCOURS D'UN EFFORT DYNAMIQUE

AU MOYEN DE TÉLÉRADIOGRAPHIES INSTANTANÉES PRISES SIMULTANÉMENT DE FACE ET DE PROFIL, EN SYSTOLE ET EN DIASTOLE, SOUS CONTROLE ÉLECTROCARDIOGRAPHIQUE

Président : M. CHAILLET-BERT, *Professeur*

PARIS

ÉDITIONS « T.S.M. »

9, RUE DE PHALSBOURG - XVII^e

1962

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41538124_0063

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS

ANNÉE 1962 N°

THÈSE POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

par

MARIE-PIERRE LIOT, née DESCROIX

née le 1er janvier 1936, à Casablanca (Maroc)

présentée et soutenue publiquement le novembre 1962

ÉTUDE DES VARIATIONS DU VOLUME CARDIAQUE AU COURS ET AU DÉCOURS D'UN EFFORT DYNAMIQUE

AU MOYEN DE TÉLÉRADIOGRAPHIES INSTANTANÉES PRISES SIMULTANÉMENT DE FACE ET DE PROFIL, EN SYSTOLE ET EN DIASTOLE, SOUS CONTROLE ÉLECTROCARDIOGRAPHIQUE

Président : M. CHAILLEY-BERT, *Professeur*

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

PARIS

ÉDITIONS « T.S.M. »

9, RUE DE PHALSBOURG - XVII^e^

1962

PROFESSEURS HONORAIRES :

MM. ALAJOUANINE (T.), AUBIN (A.), BENARD (H.), BULLIARD (H.), CADENAT (F.), CHABROL (E.), CHAMPY (C.), DEBRE (R.), FEY (B.), GASTINEL (P.), HALPHEN (E.), HAZARD (R.), HEUYER (G.), LANTUEJOUL (P.), LAROCHE (G.), LEVY-SOLAL (E.), LIAN (C.), MATHIEU (P.), MOCQUOT (P.), MONDOR (H.), MONOD (R.), MOREAU (R.), MOULONGUET (P.), OLIVIER (E.), PASTEUR VALLERY-RADOT, PETIT-DUTAILLIS (D.), QUENU (J.), RICHET (C.), SENEQUE (J.), STROHL (A.), TANON (L.).

DOYEN	Léon BINET, *Membre de l'Institut*
1er Assesseur	Jean VERNE
2e Assesseur	Gaston CORDIER

I. — PROFESSEURS

1° Chaires de sciences fondamentales

a) ***Professeurs titulaires :***

	MM.
Anatomie	DELMAS (A.)
Anatomie pathologique	DELARUE (J.)
Anesthésiologie	BAUMANN (J.)
Biochimie médicale	JAYLE (M.-F.)
	SCHAPIRA (G.)
Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports	CHAILLEY-BERT (P.)
Biologie médicale	FAUVERT (R.)
Cancérologie médicale et sociale	BERNARD (J.)
Embryologie	GIROUD (A.)
Histoire de la médecine et de la chirurgie (Lariboisière)	N...
Histologie	VERNE (J.)
Hygiène et médecine préventive	JOANNON (P.)
Médecine du Travail	DESOILLE (H.)
Médecine légale	PIEDELIEVRE (R.)
Microbiologie (Bactériologie et virologie)	FASQUELLE (R.)
Parasitologie	GALLIARD (H.)
Pathologie chirurgicale	HUGUIER (J.)
Pathologie exotique	LAVIER (G.)
Pathologie expérimentale et comparée	MERKLEN (F.-P.)
Pathologie médicale	MILLIEZ (P.)
Pathologie respiratoire	TURIAF (J.)
Pathologie et thérapeutique générales	BOUDIN (G.)
Pharmacologie	CHEYMOL (J.)
Physiologie	BINET (L.)
	BARGETON (D.)
Physiologie et pathologie obstétricale	LEPAGE (F.)
Physique médicale	DOGNON (A.)
	DJOURNO (A.)
Radiologie médicale	DESGREZ (H.)
Technique chirurgicale et Chirurgie expérimentale	N...
Thérapeutique	CONTE (M.)

b) ***Professeurs à titre personnel :***

Biochimie médicale	DESGREZ (P.)
	POLONOVSKI (J.)
Biologie médicale	BOURLIERE (F.)
Embryologie	TUCHMANN (H.)
Hygiène et médecine préventive	DEPARIS (M.)
Parasitologie	BRUMPT (L.-C.)
Pathologie chirurgicale	LAURENCE (G.)
Pharmacologie	LEVY (Mlle J.)
Physiologie	PARROT (J.)
Physique médicale	KELLERSHOHN (L.)

2° Chaires de sciences cliniques

a) ***Professeurs titulaires :***

	MM.
Clinique carcinologique chirurgicale (Necker)	REDON (H.)
Clinique cardiologique (Broussais)	MOUQUIN (M.)

Cliniques chirurgicales :	
Beaujon	LEGER (L.)
Cochin	LORTAT-JACOB (J.-L.)
Hôtel-Dieu	PATEL (J.)
Pitié	CORDIER (G.)
Saint-Antoine	GOSSET (J.)
Salpêtrière	SICARD (A.)
Tenon	OLIVIER (Cl.)
Clinique de chirurgie infantile et orthopédique (Enfants-Malades)	FEVRE (M.)
Clinique chirurgicale orthopédique et réparatrice (Cochin)	MERLE D'AUBIGNE (R.)
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire (Broussais)	GAUDART D'ALLAINES (F. de)
Clinique de chirurgie pleuro-pulmonaire (Laennec)	MATHEY (J.)
Clinique endocrinologique (Pitié)	DECOURT (J.)
Clinique de génétique médicale (Enfants-Malades)	LAMY (M.)
Clinique gynécologique (Broca)	FUNCK-BRENTANO (P.)
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques (Saint-Louis)	DEGOS (R.)
Clinique des maladies des enfants (Enfants-Malades)	CATHALA (J.)
Clinique des maladies infectieuses (Claude-Bernard)	MOLLARET (P.)
Clinique des maladies mentales et de l'encéphale (Sainte-Anne)	DELAY (J.)
Clinique des maladies métaboliques (Necker)	HAMBURGER (J.)
Clinique des maladies du sang (Broussais)	MARCHAL (G.)
Clinique des maladies du système nerveux (Salpêtrière)	CASTAIGNE (P.)
Cliniques médicales :	
Boucicaut	LENEGRE (J.)
Broussais	SOULIE (P.)
Cochin	JUSTIN-BESANÇON (L.)
Cochin	BROUET (G.)
Hôtel-Dieu	BARIETY (M.)
Laribosière	SEZE (S. de)
Pitié	DREYFUS (G.)
Saint-Antoine	KOURILSKY (R.)
Clinique médicale d'hydrologie thérapeutique et climatologie (Bichat)	DEBRAY (C.)
Clinique médicale propédeutique (Broussais)	GENNES (L. de)
Clinique médico-sociale du diabète sucré et des maladies de la nutrition (Hôtel-Dieu)	DEROT (M.)
Clinique de neuro-chirurgie (Pitié)	DAVID (M.)
Clinique neurologique (Salpêtrière)	GARCIN (R.)
Cliniques obstétricales :	
Baudelocque	LACOMME (M.
Foch (Suresnes)	MERGER (R.)
Clinique obstétricale et gynécologique (Port-Royal)	VARANGOT (J
Clinique ophtalmologique (Hôtel-Dieu)	RENARD (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique (Laribosière)	AUBRY (M.)
Clinique de pédiatrie et de puériculture (Saint-Vincent-de-Paul)	LELONG (M.)
Clinique de pédiatrie sociale (Enfants-Malades)	MARIE (J.)
Clinique de pneumo-phtisiologie (Laennec)	BERNARD (E.)
Clinique de neuro-psychiatrie infantile (Salpêtrière)	MICHAUX (L.)
Clinique de rhumatologie médicale et sociale (Cochin)	COSTE (F.)
Clinique stomatologique (Pitié)	DECHAUME (M.)
Clinique thérapeutique chirurgicale (Vaugirard)	ROUX (M.)
Clinique thérapeutique médicale (Saint-Antoine)	LEMAIRE (A.)
Clinique toxicologique	GAULTIER (M.)
Clinique traumatologique	PADOVANI (P.)
Séméiologie médicale	DOMART (A.)
Séméiologie et clinique chirurgicales	POILLEUX (F.)
Clinique urologique (Necker)	COUVELAIRE (R.)
Hygiène et clinique de la première enfance (Trousseau)	TURPIN (R.)

b) ***Professeurs à titre personnel :***

Médecine	BOUR (H.) LHERMITTE (F.) PEQUIGNOT (H.)

II. — PROFESSEURS SANS CHAIRE, PROFESSEURS AGRÉGÉS ET MAITRES DE CONFÉRENCES — AGRÉGÉS

Anatomie :

CABROL (C.)
COUINAUD (C.)
GILLOT (C.)
OLIVIER (G.)

Anatomie pathologique :

GAUTHIER-VILLARS (M^lle P.), pr. s. ch.
ABELANET (R.)
BUSSER (F.)
CHOMETTE (G.)
GOUYGOU (Ch.), m. conf.
NEZELOFF (Ch.)
ORCEL (L.)
PAILLAS (J.)

Anesthésiologie :

KERN (E.)
VOURC'H (G.)

Bactériologie :

BARBIER (P.)
CHRISTOL (D.)
LE MINOR (L.)
TOURNIER (P.)

Biochimie médicale :

BEAULIEU (Et.), m. conf.
BOURILLON (R.)
CARTIER (P.)
DREYFUS (J.-Cl.)
GONNARD (P.)
KRUH (J.)
JEROME (H.)

Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports :
PLAS (F.)
Carcinologie :
BOIRON (M.)
DENOIX (P.)
MATHE (G.)
SELIGMANN (M.)
Dermato-Syphiligraphie :
CIVATTE (J.)
DUPERRAT (B.)
Electro-Radiologie :
LEDOUX-LEBARD (G.)
Hématologie :
BESSIS (M.)
BILSKI-PASQUIER (G.)
DAUSSET (J.)
DUHAMEL (G.)
Histologie :
COUJARD (R.), pr. s. ch.
MAROIS (M.)
RACADOT (J.)
Hydrologie :
BESANÇON (F.)
CORNET (A.)
Hygiène :
BOYER (J.), pr. s. ch.
BLANCHER (G.)
CORRE-HURST (Mme L.)
SAPIN-JALOUSTRE (H.)
Maladies infectieuses :
BASTIN (R.)
DUPONT (V.)
Médecine légale :
DEROBERT (L.), pr. s. ch.
FOURNIER (E.)
GUENIOT (M.)
HADENGUE (A.)
Médecine du travail :
ALBAHARY (C.)
Neuro-chirurgie :
PERTUISET (B.)
Obstétrique :
GRANJON (A.)
HERVET (E.)
LE LORIER (G.)
LEVY (J.)
MORIN (P.)
MUSSET (R.)
ROBEY (M.)
SENEZE (J.)
SUREAU (C.)
THOYER-ROZAT (J.)
Ophtalmologie :
BREGEAT (P.)
DUBOIS (A.)
SARAUX (H.)
Orthopédie :
JUDET (R.)
MEARY (R.)
POSTEL (M.)
RAMADIER (J.)
Oto-rhino-laryngologie :
DEBAIN (J.)
PIALOUX (P.)
Parasitologie :
GOLVAN (Y.).
LAPIERRE (J.)
Pathologie chirurgicale :
BARCAT (J.)
BINET (J.-P.)
CAUCHOIX (J.)
CERBONNET (G.)
CHATELIN (C.-L.)
DUBOST (Ch.)
DUBOST (Cl.)
FAUREL (J.)
FLABEAU (F.)
GARBAY (M.)
GARNIER (H.)
GAUDART-D'ALLAINES (Cl. de)
GERMAIN (A.)
LATASTE (J.)
LEVEQUE (B.)
LOYGUE (J.)
MERCADIER (M.)
NATALI (J.)
PELLERIN (D.)
PERROTIN (J.)
ROBERT (H.)
Pathologie exotique :
SCHNEIDER (J.)
Pathologie expérimentale :
BENHAMOU (J.-P.)
BERTHAUX (P.)
BOIVIN (P.)
CROSNIER (J.)
HARTMANN (L.)
LŒPER (J.)
MAURICE (J.)
MIKOL (Cl.)
RICHET (G.)
Pathologie médicale :
AUSSANNAIRE (M.)
BOUVIER (J.)
BOUVRAIN (Y.)
BRICAIRE (H.)
BRISSAUD (H.)
BROCARD (H.)
BUGE (A.)
CATINAT (J.)
CHRETIEN (J.)
COBLENTZ (B.)
CONTAMIN (F.)
COURY (C.)
ETIENNE (J.-P.)
FREZAL (J.)
FRITEL (D.)
HENNEQUET (A.)
HIMBERT (J.)
HOUSSET (E.)
LAROCHE (Cl.)
LESOBRE (R.)
MACREZ (C.)
MOREAU (L.)
NICK (J.)
ROYER (P.)
TOURNEUR (R.)
WOLFROMM (R.)
Pédiatrie-Puériculture :
JOSEPH (R.)
LAFOURCADE (J.)
LEPERCQ (G.)
MANDE (R.)
MOZZICONACCI (P.)
POLONOVSKI (C.)
ROSSIER (A.)
VIALATTE (J.)
Pharmacologie :
BOISSIER (J.)
LECHAT (P.)
Physiologie :
BARRÉS (G.)
DEJOURS (P.)
DURAND (J.)
GIRARD, m. conf.
HUGELIN (A.)
SCHERRER (J.)
CHANTEUR (J.)
Physique médicale :
GOUGEROT (L.), m. conf., pr. s. ch.
GREMY (F.), m. conf.
MILHAUD (G.)
PELLERIN (P.)
ROUCAYROL (J.-Cl.)
TUBIANA (M.), m. conf.
Pneumo-phtisiologie :
KREIS (B.)
MEYER (A.)
RENAULT (P.)
Psychiatrie :
PICHOT (P.)
Psychiatrie infantile :
DENIKER (P.)
DUCHE (D.)
FLAVIGNY (H.)
LAPRESLE (J.)
Rhumatologie :
DELBARRE (F.)
Stomatologie :
CERNEA (P.)
CHAPUT (Mme A.), m. c. agr.
GRELLET (M.)
Thérapeutique :
CHASSAGNE (P.)
LAMOTTE (M.)
MARCHE (J.)
Urologie :
AUVERT (J.)
MOULONGUET (A.)
QUENU (L.)

III. — PROFESSEURS SANS CHAIRE ET AGRÉGÉS CHARGÉS DE COURS DE CLINIQUE ANNEXE

à titre permanent

Anatomie :
DEBEYRE (J.)
Clinique chirurgicale :
ABOULKER (P.)
AMELINE (A.), pr. s. ch.
VERNE (J.-M.)
Clinique médicale :
PERRAULT (M.)
RAMBERT (P.)
THIEFFRY (S.)
Clinique obstétricale :
GRASSET (J.)
MAYER (M.)
Clinique ophtalmologique :
DESVIGNES (P.)
OFFRET (G.)
Clinique oto-rhino-laryngologique :
MADURO (R.)
Clinique pédiatrique et puériculture :
LAPLANE (R.)
Clinique psychiatrique :
BARUK (H.)
Clinique urologique :
KUSS (R.)

IV. — PROFESSEURS DÉTACHÉS DANS LES UNIVERSITÉS ÉTRANGÈRES

Bactériologie	HAUDUROY (P.) Pr. s. ch.
Pathologie chirurgicale	RUDLER (J.) Pr. s. ch.

V. — CHARGÉS DE COURS D'HYGIÈNE SCOLAIRE ET UNIVERSITAIRE

BOLTANSKI (E.) — LAUNAY (C.)

Secrétaire général de la Faculté	M. LENA (J.)
Secrétaire principal	Mlle CHANTREUIL (G.)
Conservateur en Chef de la Bibliothèque	
Conservateur du Musée d'Histoire de la Médecine	M. le Docteur HAHN (A.)
Conservateur	Mlle DUMAITRE (P.)
Bibliothécaires	Mmes CONTET (J.), FORGET (F.), Mlles LAURENT (H.), LE NOIR (G.), QUIEVREUX (E.).

Par délibération en date du 9 décembre 1798, l'Ecole a arrêté que les opinions émises dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elle n'entend leur donner aucune approbation, ni improbation.

A mon mari,
A mon fils,
A mes parents,
A mes beaux-parents,
A ma famille et à mes amis.

A Monsieur le Professeur CHAILLEY-BERT

Professeur de Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports,
Directeur de l'Institut d'Education physique de l'Université de Paris,
Officier de la Légion d'honneur,
Croix de guerre 1914-1918 et 1939-1945,
Rosette de la Résistance,

qui nous a fait le très grand honneur d'accepter la présidence de cette thèse;

qu'il veuille bien trouver ici l'expression de notre plus respectueuse gratitude.

A Monsieur le Docteur PLAS,

auquel nous devons le sujet de cette thèse et qui a bien voulu, tout au long de sa réalisation, nous guider de ses précieux conseils, nous lui exprimons notre plus sincère reconnaissance.

A Monsieur le Docteur PALLARDY,

Assistant de la Chaire de Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports,
Assistant de Radiologie des Hôpitaux,

Nous le remercions de nous avoir constamment guidée, avec une bienveillante indulgence, tant dans la conception et dans l'exécution matérielle de nos mesures que dans la rédaction de cette thèse.

A Monsieur le Docteur BABINET.

A nos Maîtres de l'Hôpital de Mantes :
Monsieur le Docteur SEGUIN,
Monsieur le Docteur LEBEL

Nous les prions de trouver ici le faible témoignage de notre respectueuse reconnaissance pour l'enseignement qu'ils nous ont si patiemment dispensé.

PLAN

I. **Rappel physiologique.**

II. **Historique :**

1. Prise des clichés du cœur.
2. Etude du volume cardiaque à l'effort.
3. Choix de notre technique.

III. **Exposé technique :**

1. Appareillage.
2. Sujet.

IV. **Protocole d'opération et de mesure :**

1. Protocole d'opération.
2. Protocole de mesure.

V. **Résultats des mesures des systole et diastole au repos.**

VI. **Résultats des mesures des systole et diastole pendant et immédiatement après l'effort.**

VII. **Discussion des résultats.**

VIII. **Conclusions.**

IX. **Bibliographie.**

— I —

RAPPEL PHYSIOLOGIQUE

L'on sait depuis longtemps que l'activité physique augmente les échanges, accélérant les processus respiratoires et circulatoires : en particulier, lors d'un effort important, le débit cardiaque augmente considérablement, passant de quatre à cinq litres à trente et même quarante litres par minute. Ce fait est rendu possible par deux mécanismes :

— l'accélération du rythme cardiaque,

— et l'accroissement de l'ondée systolique.

En réalisant ce travail dans le cadre de la chaire de Biologie appliquée à l'Education physique et aux Sports, nous avons cherché à déterminer si cette augmentation de l'ondée systolique était ou non en rapport avec un accroissement du volume du cœur. En effet, le mécanisme de l'augmentation de l'ondée systolique continue à soulever de nombreuses discussions : il est classique, en application de la loi de Starling, d'invoquer un meilleur remplissage et une meilleure évacuation ventriculaires; les deux termes de ce mécanisme étant liés l'un à l'autre, et la meilleure évacuation apparaissant comme la conséquence d'un étirement plus grand de la fibre myocardique causé par une augmentation de volume des cavités mieux remplies lors de la diastole. Il est d'ailleurs parfaitement possible de vérifier au laboratoire le bien-fondé de la loi de Starling. En biologie humaine,

cette loi est discutée. Certains calculs du débit cardiaque (Liljeström, Nylin, Chailley-Bert, Fabre) faits en fonction des variations de volume de la masse cardiaque, montrent que dans certains cas, l'accroissement de débit ne peut pas être expliqué par un meilleur remplissage seul. Les travaux radiologiques de Reindell et de Kjellberg ont attiré l'attention sur le fait que, lors de l'effort dynamique, le volume du cœur n'augmentait pas pendant la diastole.

Or, la loi de Starling implique une dilatation diastolique préalable. On ne saurait concevoir un étirement plus grand de la fibre sans une augmentation de volume des cavités.

Les travaux de Reindell ayant laissé planer un doute dans notre esprit à ce sujet, nous avons décidé de reprendre une étude au moyen d'un dispositif nous permettant :

— de prendre simultanément en frontal et en sagittal des téléradiographies cardiaques instantanées;
— de pouvoir déclencher la prise de ces clichés à partir d'un accident donné de l'électrocardiogramme;
— de pouvoir contrôler sur l'enregistrement électrocardiographique le moment exact de la prise des clichés.

Cette technique nous permet donc de connaître avec exactitude le cliché pris pendant la systole et celui pris pendant la diastole.

— II —

HISTORIQUE

1. Prise des clichés du cœur

Les travaux les plus importants concernant le calcul du volume du cœur à partir de clichés radiologiques sont ceux de l'école suédoise. Ce sont les travaux dont nous parlerons en dernier car les méthodes que nous avons utilisées s'en inspirent directement.

a) Premiers travaux :

En 1902, Moritz puis Hoffman ont l'idée de mesurer le volume du cœur à partir de l'aire frontale calculée sur des orthodiagrammes. D'autres auteurs poursuivent les mêmes travaux : Reyther en 1906, Bardeen en 1918, de Abreu en 1920.

A leur suite Geigel et Salotti calculent le volume cardiaque en l'assimilant, le premier à une sphère, le second à un ellipsoïde d'épaisseur constante.

En 1928, Cignolini mesure les trois dimensions du cœur en calculant sa profondeur sur un cliché oblique antérieur gauche. Puis Bollini en 1935 et Benedetti en 1936 utilisent des techniques semblables. Enfin Bordet, Dietlen, Hammer et Vaquez critiquent toutes ces méthodes et établissent des tables pour calculer les dimensions du cœur en fonction de diverses données.

b) Reconstitution plastique du cœur
a partir d'orthodiagrammes.

Palmieri en 1920, Lysholm en 1926, Schatzi en 1928, Strandquist en 1932 et Wegelius en 1934 imaginent de faire des reconstitutions plastiques du cœur à partir de multiples clichés pris dans différents plans. Ils mesurent ensuite par immersion le volume du modèle ainsi obtenu.

Cette méthode donne des résultats assez précis, mais elle a le défaut d'être longue et coûteuse.

c) Techniques tomographiques :

Fuchs et Bayer imaginent de calculer le volume du cœur à partir de tomographies frontales.

Takahashi utilise des tomographies simultanées axiales transverses et parvient aux mêmes résultats que Palmieri en réalisant des moulages statigraphiques.

En France, Broustet, Grillon, Wangermer et Fontanille calculent le volume du cœur à partir de tomographies axiales transverses. Mais après avoir fait une étude statistique approfondie comparant leur propre méthode et celle de l'école suédoise, ils concluent que cette dernière, que nous avons également utilisée pour ce travail, est la plus simple et la plus fidèle.

d) Technique de Panichi et Borechi :

Ces deux auteurs italiens assimilent le cœur à un ellipsoïde et calculent le volume cardiaque à l'aide d'une formule compliquée utilisant les diamètres longitudinal et transversal et leur angle d'inclinaison.

e) Travaux de Ludwig et de Rohrer-Kahlstorf :

Ludwig assimile la surface frontale du cœur à un rectangle. Le volume cardiaque est égal, selon lui, au produit de la surface de ce rectangle par le diamètre le plus grand de la profondeur du cœur. Ce qui donne :

$$V = K \times S \times L_{max}$$

K étant une constante $= 0{,}63$.

ROHRER, en 1916, considère que le cœur a une forme intermédiaire entre un paraboloïde et un ellipsoïde.

KAHLSTORF, en 1932, arrive aux mêmes résultats. Utilisant deux orthodiagrammes frontal et sagittal, ROHRER et KAHLSTORF établissent la formule :

$$V = 0{,}63 \times S \times L$$

0,63 étant le facteur de correction entre ellipsoïde et paraboloïde;

S étant la surface frontale du cœur calculée à l'aide de papier millimétrique;

L étant la longueur maximale du cœur sur le cliché sagittal.

Ces deux auteurs vérifient leurs résultats sur le cadavre et les trouvent très satisfaisants.

f) TRAVAUX DE L'ÉCOLE SUÉDOISE :

En 1939, LILJESTRAND, LYSHOLM, NYLIN et ZACHRISSON substituent aux orthodiagrammes utilisés jusque-là, des téléradiographies simultanées de face et de profil, la distance focus-plaque étant de 2 m pour la face et de 1,50 pour le profil.

Reprenant les travaux de ROHRER et KAHLSTORF, ils assimilent le cœur à un ellipsoïde. Pour éviter le travail fastidieux du calcul de la surface du cœur sur papier millimétrique, ils établissent une formule plus simple :

$$V = 0{,}38 \times L \times m \times n$$

où L est l'axe longitudinal tracé de la jonction de l'aorte avec l'oreillette droite au pôle inférieur gauche du cœur;

m est l'axe tracé de la jonction artère pulmonaire-ventricule gauche au bord inférieur droit de la silhouette cardiaque;

et n est le plus grand diamètre sagittal.

Enfin, les travaux de JONSELL, en 1939, utilisent des téléradiographies successives prises avec une distance focus-plaque de 1,50 m dans les deux plans. Ce qui donne la formule suivante :

$$V = 0{,}42 \times L \times m \times n$$

L, m et n ayant les mêmes valeurs que dans la formule de LILJESTRAND.

La méthode de calcul du volume cardiaque de LILJESTRAND et JONSELL est utilisée de façon courante dans la plupart des hôpitaux suédois depuis 1940. LIND l'a vérifiée sur un grand nombre d'enfants. Il faut d'ailleurs remarquer que ces auteurs, comme RUOSTEENOJA, considèrent que les variations du facteur n sont négligeables quelle que soit la circonstance de prise du cliché sagittal (systole ou diastole, repos ou effort).

2. Etude du volume cardiaque à l'effort

Les modifications du volume cardiaque pendant et après l'effort ont intéressé de nombreux auteurs qui ont abouti à des résultats assez divergents.

Cependant, il faut noter qu'il semble que la plupart de ces auteurs ont assimilé le volume du cœur mesuré immédiatement après l'effort au volume du cœur pendant l'effort, parce qu'il est techniquement difficile de faire des clichés de bonne qualité pendant l'effort. Ce point est probablement à la base des différences de résultats enregistrés.

En 1902, MORITZ fait une étude orthodiagraphique de trois cyclistes avant et immédiatement après un effort intense. Il dit ne noter en aucun cas d'augmentation du volume cardiaque.

HOFFMAN, en 1902, trouve des résultats analogues. DE LA CAMP, en 1903 enregistre une diminution de volume cardiaque après l'effort. SMITH, en 1906, observe une diminution de volume chez la plupart de ses sujets, mais au contraire une dilatation du cœur chez ceux qui présentaient une cardiopathie.

En 1907, KIENBOCK, SELIG et BECK observent dans dix cas sur onze une diminution du volume du cœur après une épreuve de natation.

En 1908, SCHOTT trouve chez deux sujets une dilatation après une épreuve de lutte, tandis que DIETLEN et MORITZ, la même année, enregistrent une diminution du volume cardiaque après trente et une heures de pédalage, chez presque tous leurs sujets.

En 1909-1910, RAAB et D'AGOSTINI trouvent régulièrement des diminutions de volume cardiaque après un exercice violent.

En 1912, LIPSCHITZ observe dans dix-neuf cas sur soixante-deux une augmentation de la surface du cœur et dans quarante-trois cas une diminution après un exercice bref, mais pénible. La même année, JUNDELL et SJÖGREN trouvent chez vingt-trois sujets, vingt-deux cas de diminution et un seul d'augmentation de l'aire de l'ombre cardiaque après une épreuve de natation.

En 1914, NICOLAÏ et ZUNTZ trouvent une diminution de l'ombre cardiaque trois secondes après la fin du travail.

En 1915, WILLIAMSON trouve chez trente sujets une diminution de volume tandis que trois autres, au cœur fatigué, présentent une dilatation du cœur à l'effort.

Les années suivantes, BURNS et ROEMER, en 1922, GORDON, en 1925, après un marathon, enfin ACKERMANN, en 1926, trouvent tous une diminution habituelle de l'ombre cardiaque après travail musculaire.

En 1928, MC CREA, EYSER et MEEK prennent des téléradiographies de face avant, pendant et après une épreuve de pédalage sur bicyclette ergométrique. C'est l'un des premiers travaux utilisant les clichés pris pendant l'effort, la cassette étant suspendue au cou du pédaleur par une courroie. Les sujets ont le dos calé en arrière pour obtenir des clichés pris dans un plan fixe. Au bout de vingt-cinq minutes d'exercice, les auteurs enregistrent des clichés d'effort qui ont sensiblement les mêmes dimensions qu'au repos, mais cinq minutes après l'arrêt du travail, le cœur a nettement diminué de volume.

Tous les auteurs cités jusqu'ici ont utilisé seulement la

mesure de la surface frontale du cœur pour déterminer son volume.

En 1936, ZDANSKY utilise des orthodiagrammes simultanés frontal et sagittal et calcule le volume cardiaque suivant la formule de ROHRER.

Tout de suite après l'effort, il trouve qu'une diminution de volume cardiaque est plus fréquente, mais qu'on peut également trouver une augmentation de ce volume.

Enfin, en 1938, LILJESTRAND étudie douze jeunes gens en bonne santé et pratique sur eux des téléradiographies simultanées de face et de profil prises au 1/20e de seconde avant et immédiatement après une épreuve de pédalage sur bicyclette ergométrique.

Immédiatement après l'arrêt du travail, il trouve une légère diminution de volume cardiaque chez un seul sujet et une augmentation de 12,7 % en moyenne chez les autres. Au contraire, quelques minutes après l'arrêt du travail, tous les sujets sauf quatre avaient un volume cardiaque diminué de 6 % en moyenne, ces derniers ayant conservé un volume cardiaque identique. LILJESTRAND en conclut que la loi de STARLING est en défaut, peut-être à cause de la grande quantité d'adrénaline présente dans le sang pendant le travail.

3. Choix de notre technique

Après un grand nombre de mesures pratiquées à l'Institut d'Education physique par PALLARDY puis HOURCADE, en 1961, nous avons adopté la technique de LILJESTRAND légèrement modifiée.

Sur le cliché de face, nous avons déterminé les axes de l'ellipse cardiaque de la façon suivante :

petit axe = point G - point D′;
grand axe = point D - point G′.

Partons de la formule de LILJESTRAND et JONSELL :

$$V = \frac{4\pi}{3} \times \frac{L - a}{L} \times \frac{1}{2} \times \frac{L - a}{L} \times \frac{m}{2} \times \frac{D - b}{D} \times \frac{n}{2}$$

a = distance entre un plan frontal équatorial du cœur et la plaque frontale;

b = distance entre un plan sagittal équatorial du cœur et la plaque sagittale.

Comme nos sujets sont tous de jeunes sportifs, nous considérons les valeurs moyennes : $a = 15$ cm - $b = 23$ cm.

Dans nos conditions d'expérimentation : $L = 350$ cm - $D = 250$ cm.

Si nous remplaçons les paramètres par les données constantes de notre technique, nous arrivons à la formule simplifiée :

$$V = 0{,}40 \times L \times m \times n$$

La plupart des auteurs cependant ont montré par pluridétermination chez des sujets sains, que l'erreur de la méthode lors de la prise des radiographies, de la détermination des axes et de leur mesure, n'influençait le résultat final que dans des limites négligeables (moins de 3 %).

Après calculs, estimant possible l'erreur de ± 1 mm sur chacun des trois diamètres, nous n'avons considéré comme pleinement significatives que les variations de volume supérieures à 5 %.

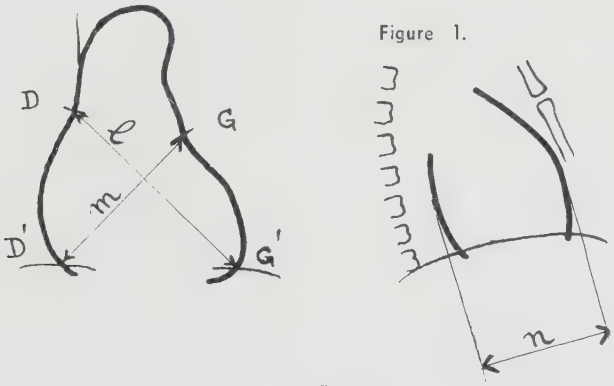


Figure 1.

$V = 0{,}40 \times L \times m \times n$

— III —

EXPOSÉ TECHNIQUE

1. Appareillage

a) Matériel radiologique :

L'appareillage radiologique utilisé dérive d'un matériel classique adapté aux conditions un peu spéciales du travail entrepris. Le générateur est prévu pour alimenter simultanément deux ampoules par l'intermédiaire d'un dispositif analogue à ceux employés en angiographie, c'est-à-dire que les deux ampoules sont alimentées sous une tension commune pendant le même temps de pose, alors que les intensités réparties entre les deux tubes sont réglables suivant une gamme pré-établie.

Pour réduire autant que possible l'agrandissement de la projection cardiaque, et surtout pour éviter que cet agrandissement ne soit très sensible à la distance sujet-plaque qui peut varier malgré toutes les précautions de quelques centimètres au cours des efforts, nous avons été amenés à travailler à une distance focus-plaque de 3,50 m pour la face et de 2,50 m pour le profil. D'autre part, puisqu'il s'agissait d'une silhouette du cœur, un temps de pose très court (1/50e de seconde) était nécessaire pour « immobiliser » celui-ci à un moment précis de sa révolution.

Ces considérations nous ont amenés à travailler avec des tensions élevées voisines des techniques dites « de haute tension ».

Après tâtonnements, les constantes employées ont été les suivantes :

Constantes communes aux deux ampoules :

— 120 kV;

— 0,02 s;

— 100 mA pour la face;

— 300 mA pour le profil.

Il est évident que, pour obtenir le meilleur rendement, on a utilisé :

— écrans haute tension;

— films rapides.

Les cassettes sont disposées sur un support dont les deux plans sont à angle droit comme le montrent les photographies et le schéma (hors texte, pl. 4 et 5).

L'emploi de tensions élevées et le croisement des faisceaux de rayons X à 90° commandaient :

— emploi de grilles anti-diffusantes;

— centreurs lumineux diaphragmés au plus juste;

— protection plombée des bords des cassettes.

Notons au passage que dans ces conditions, les mesures effectuées au niveau du sujet avec un dosimètre intégrateur ont montré que la dose de rayons X reçue par le sujet au niveau du thorax pendant la prise des clichés (face et profil simultanés) restait inférieure à 15 milliroentgens.

b) Déclencheur électronique* :

Il a pour but de déclencher la prise des clichés avec un retard préréglé par rapport à l'accident *R* de l'électrocardiogramme.

Le sujet est relié par les quatre électrodes à l'appareil qui enregistre, sur un tube cathodique, l'une ou l'autre au choix des trois dérivations standard : D_1 ou D_2 ou D_3. Au moment choisi par l'opérateur, l'appareil se met en marche sur l'accident le plus élevé (accident *R*), et déclenche ensuite la prise

(*) L'idée et la conception de cet appareil reviennent au docteur Maurice Durand, assistant de cardiologie à l'hôpital Broussais, qui après avoir réalisé le premier prototype a bien voulu nous le confier pour essais et modifications. Nous le prions de trouver ici l'expression de nos plus vifs et plus sincères remerciements.

du cliché avec un certain temps de retard prédéterminé et préréglé (en centièmes de seconde).

Cet appareil est muni d'un système d'élimination de parasites, pour éviter que l'un de ceux-ci, en ayant une tension supérieure à *R*, ne risque de déclencher la prise des clichés, et d'un réglage de sensibilité permettant de ne considérer que le sommet de *R* à l'exclusion de tous les autres accidents de l'électrocardiogramme.

c) Electrocardiographe :

Il s'agit d'un appareil employé couramment en cardiologie; cependant il est obligatoirement du type multipistes simultanées (six dans notre cas) afin que, sans gêner l'enregistrement des dérivations standard, on puisse utiliser une des pistes restantes pour la cellule photoélectrique.

d) Cellule photoélectrique :

C'est un modèle classique, mais utilisé d'une façon un peu particulière : au contact de la surface sensible est accolé un petit écran renforçateur du type employé dans les cassettes de radiologie; l'ensemble a été ensuite soigneusement gainé pour être entièrement à l'abri de la lumière; de ce fait, seul un rayonnement X touchant la cellule et entraînant la fluorescence de l'écran renforçateur peut produire un courant électrique qui se traduira par un accident sur la dérivation de l'électrocardiogramme, déterminant ainsi rigoureusement le moment exact auquel a été pris le cliché (voir la figure pl. 4).

2. Sujet

a) Position du sujet :

Le sujet est en selle sur la bicyclette ergométrique, adossé à la cassette frontale et accolé le plus près possible à gauche à la cassette sagittale. Quel que soit le moment de prise du cliché, repos, effort ou après effort, le sujet est strictement dans la même position, c'est-à-dire qu'il garde le tronc vertical avec les bras relevés et les mains croisées derrière la nuque pour ne pas gêner la prise du cliché. Le temps de pose très court, 2/100^{e} de seconde, nous permet de négliger l'apnée, donc de ne jamais bloquer le thorax en inspiration forcée.

b) Position des électrodes :

Cette position s'inspire de la technique de Chailley-Bert et Plas : les deux électrodes des membres supérieurs sont maintenues appliquées dans les fosses sus-épineuses par des bandes élastiques, les électrodes des membres inférieurs sont placées dans les triangles de Jean-Louis Petit.

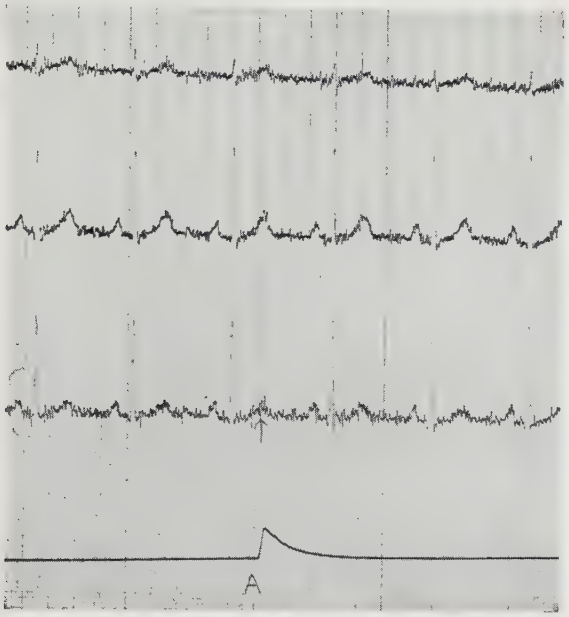
Cette disposition s'est révélée après tâtonnements celle qui nous donnait le meilleur tracé avec le minimum de parasites et qui ne gênait absolument pas le travail, puisqu'il était nécessaire que le sujet continue de pédaler à la même cadence pendant la prise du cliché d'effort.

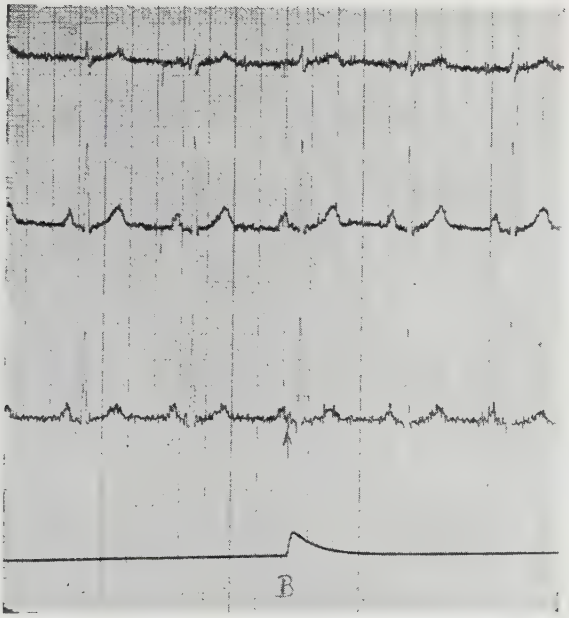
c) Choix des sujets :

Tous les sujets sont de jeunes garçons de dix-huit à vingt et un ans, élèves de l'Institut d'Education physique de Paris, donc tous sportifs soumis à un entraînement physique régulier et sévère puisqu'ils préparent le professorat d'éducation physique. Signalons au passage que, s'ils sont entraînés pour toutes sortes de sports et particulièrement pour l'athlétisme, aucun d'entre eux ne s'adonne aux compétitions cyclistes.

PLANCHE I

A : fin de systole repos, volume minimal.

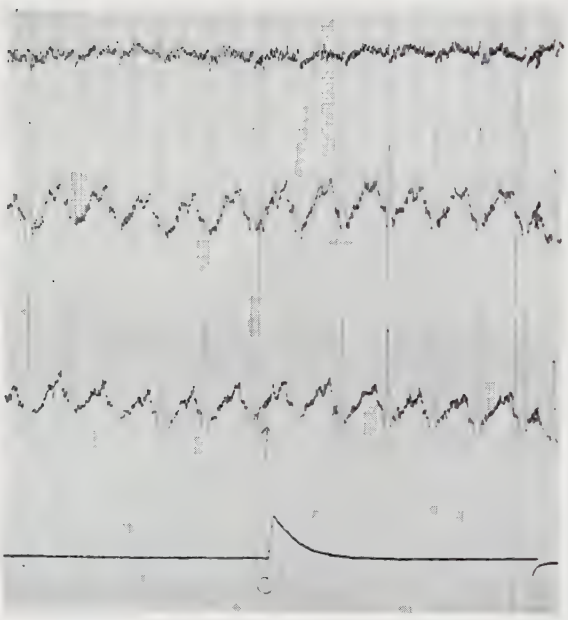




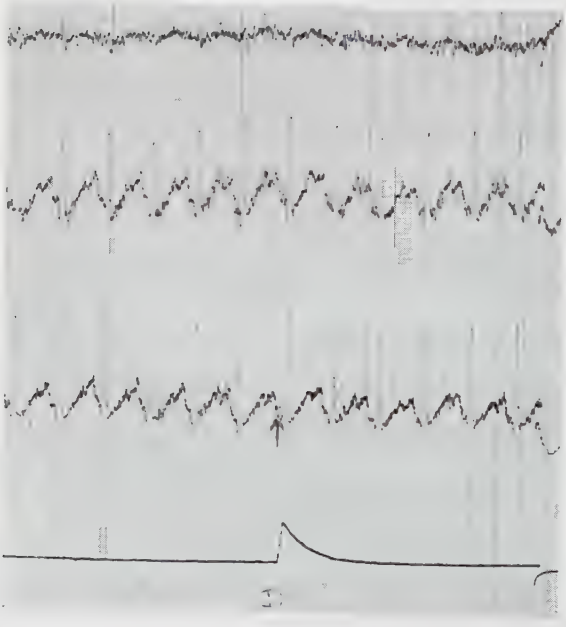
B : fin de diastole repos, volume maximal.

Planches I, II et III. — Electrocardiogramme du sujet FON... La flèche repère le début de l'accident visible sur la quatrième piste (piste du bas) correspondant à l'instant de la prise du cliché.

PLANCHE II



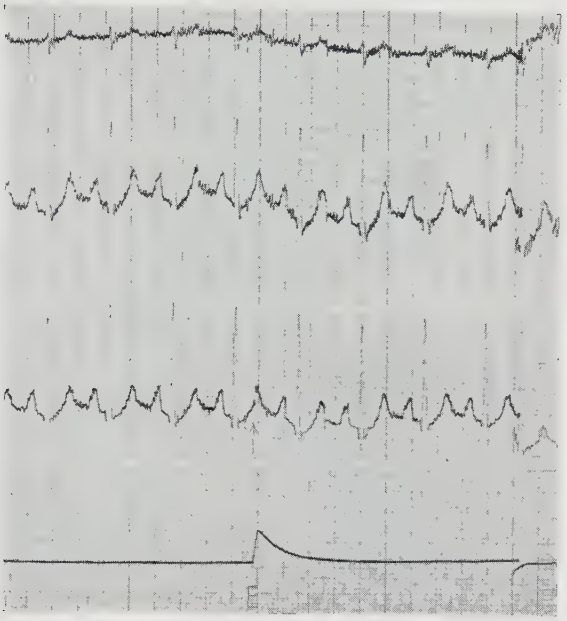
C : fin de systole effort, volume minimal.

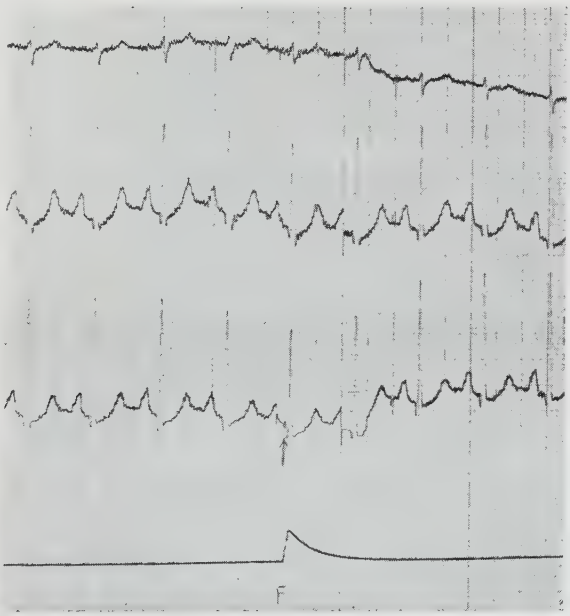


D : fin de diastole effort, volume maximal.

PLANCHE III

E : fin de systole
après effort,
volume minimal.





F : fin de diastole
après effort,
volume maximal.

PLANCHE IV

SCHEMA DE L'INSTALLATION

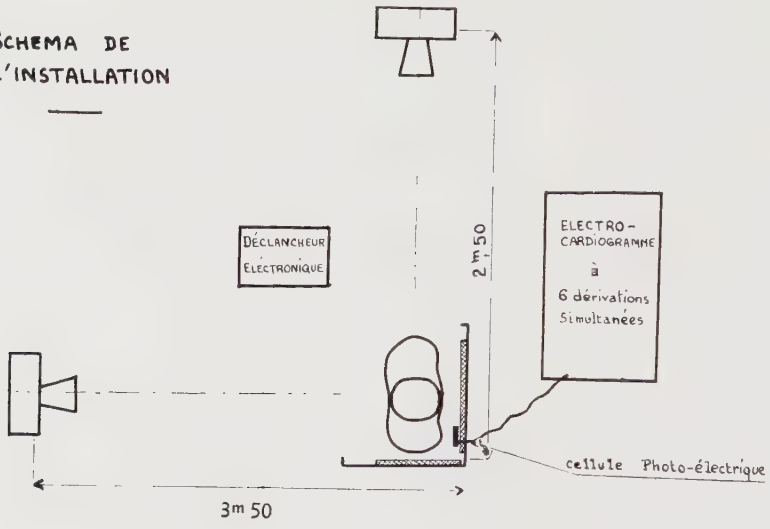
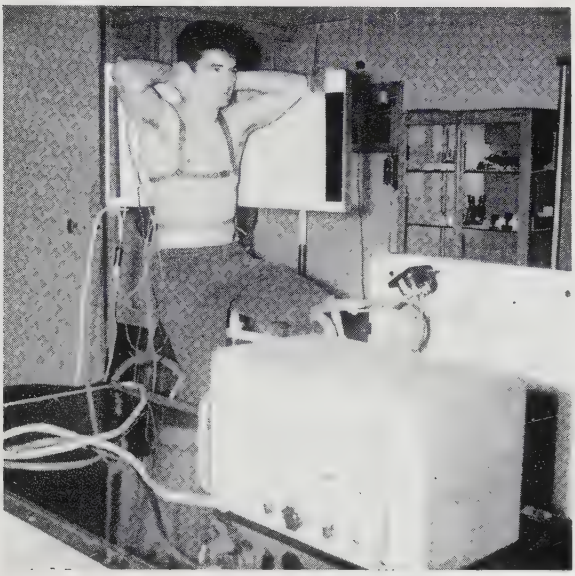
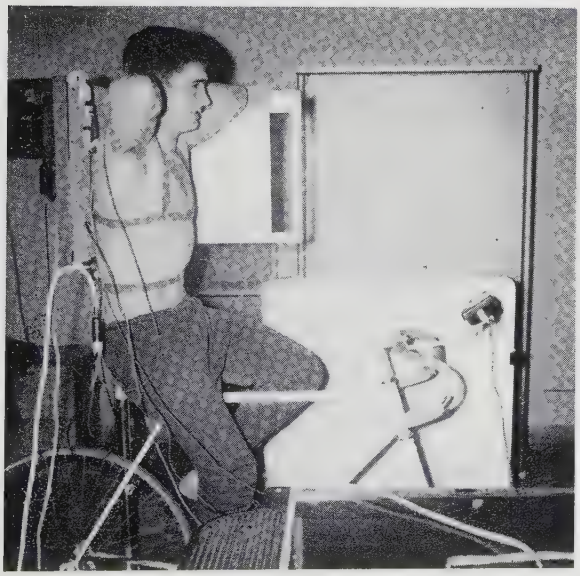
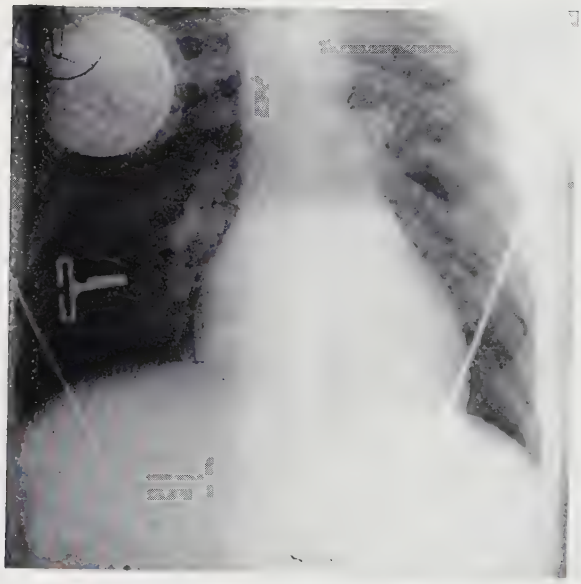


PLANCHE V

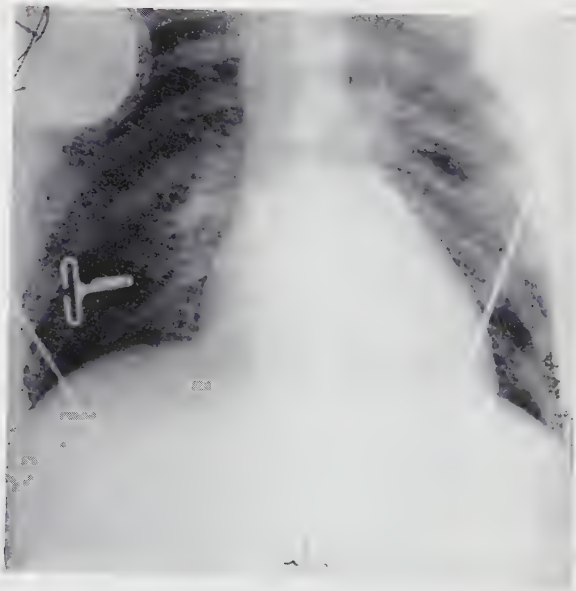




Photographies des dispositifs radiologique et électrocardiographique; le sujet GAI... étant en selle dans la position utilisée lors de la prise des clichés.



Systole repos.

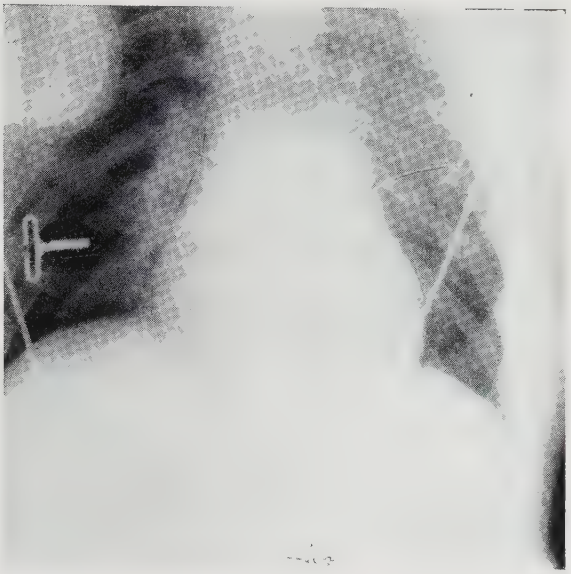


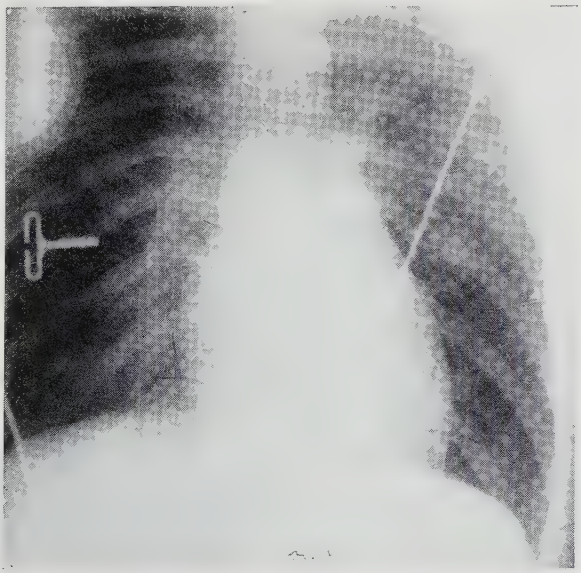
Diastole repos.

Planches VI, VII et VIII. — Clichés radio du sujet LAN... L'image arrondie située en haut et à gauche du cliché est celle de la cellule photo-électrique.

PLANCHE VII

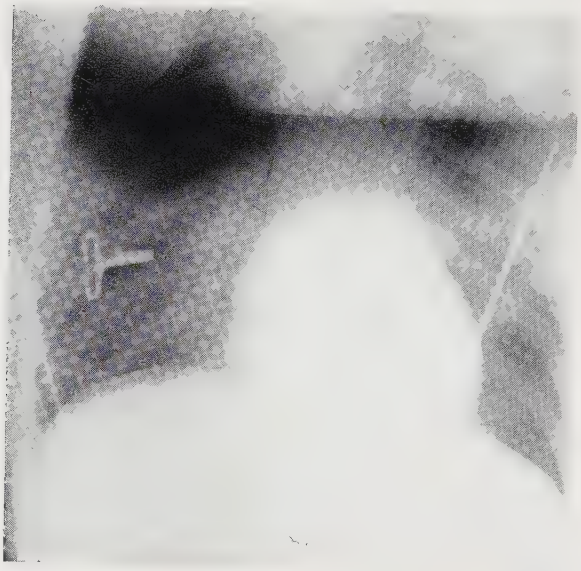
Systole effort.





Diastole effort.

PLANCHE VIII



Systole après effort.

Diastole après effort.

— IV —

PROTOCOLE D'OPÉRATION ET DE MESURE

1. Protocole d'opération

a) Au repos :

Le sujet étant en selle sur la bicyclette ergométrique comme il est décrit dans les pages précédentes illustrées par des photographies, on enregistre un premier électrocardiogramme au repos. Il permet d'évaluer en centièmes de seconde le temps qui sépare le sommet R des sommets de T et de P choisis respectivement comme moments où le volume du cœur est minimal puis maximal.

Le choix de ces temps : fin de systole au sommet de T et fin de diastole au sommet de P a été fait en se référant d'une part aux travaux de Nylin corroborés, à quelques variantes près, par ceux de Pallardy et Hourcade, d'autre part aux notions récentes de mesures des pressions intracardiaques par cathétérisme (thèse de Mlle Farman) qui coïncident parfaitement avec les données radiologiques (fig. 2 et 3). Le déclencheur électronique est branché sur la dérivation qui présente le plus grand accident *R*, afin d'éviter qu'un parasite intempestif ne risque d'entraîner la prise du cliché aux lieu et place de cet accident. Le déclencheur est ensuite réglé en tenant compte des indications fournies par l'enregistrement de l'électrocardiogramme et du retard de réponse constant

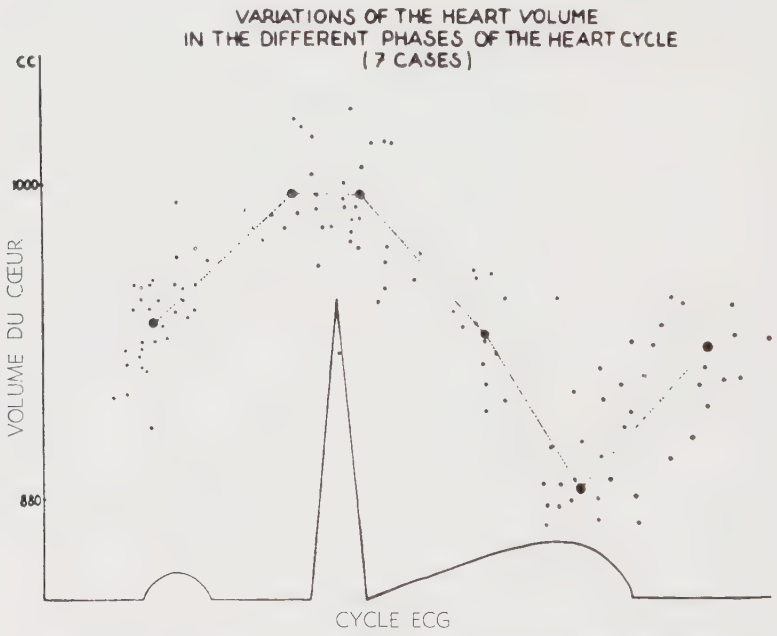


Figure 2. — Variations du volume du cœur dans les différentes phases du cycle cardiaque (7 cas) d'après NYLIN in Acta cardiologica.

et déterminé une fois pour toutes des relais du générateur de rayons X.

Pendant que l'anode tournante est maintenue lancée par un aide, on remet en marche l'électrocardiographe puis on actionne le déclencheur électronique qui prend les clichés de face et de profil simultanément.

Au moment du passage des rayons (2/100e de seconde), la cellule photoélectrique reçoit une brève fluorescence de son écran incorporé qui se traduit par un accident sur la piste de l'électrocardiogramme où elle est branchée.

On peut alors immédiatement contrôler si le moment de prise du cliché correspond très exactement soit au sommet de T, soit au sommet de P, suivant qu'il s'agit d'une systole ou d'une diastole. En cas d'erreur, le cliché est immédiatement recommencé.

b) A L'EFFORT :

Le sujet pédale pendant une quinzaine de minutes, maintenant une cadence déterminée dont il a le contrôle visuel

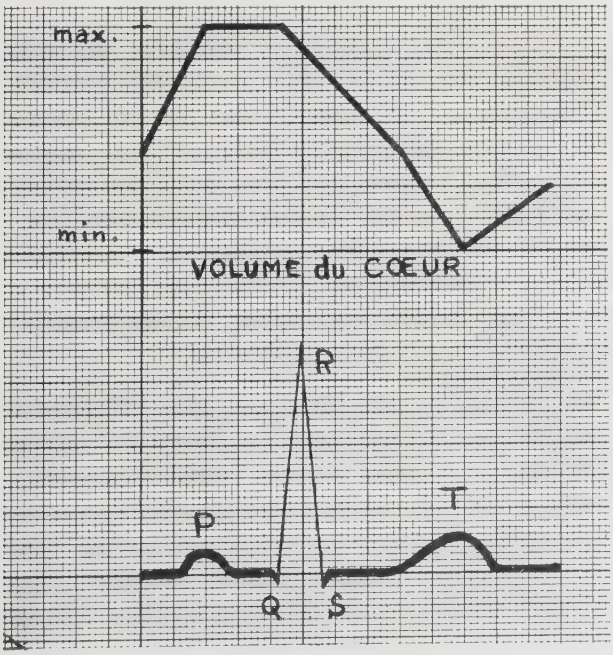
permanent, pendant que le dispositif ergométrique enregistre sur une bande le travail effectué.

A partir de la quinzième minute, sans arrêter son effort et tout en maintenant strictement la cadence de pédalage, le sujet lâche le guidon et relève le tronc jusqu'à toucher le porte-cassette. Le sujet se trouve ainsi dans la même position qu'au repos sans avoir abandonné à aucun moment la poursuite de son effort. On enregistre à nouveau l'électrocardiogramme pour calculer les espaces RP et RT et on déclenche avec la mémoire électronique la prise des clichés d'effort en systole et en diastole.

c) Après l'effort :

Après arrêt de l'effort et sans que le sujet descende de sa bicyclette on enregistre de la même façon les clichés de systole et de diastole dans un temps variant de deux à cinq minutes après l'interruption du pédalage. Ce laps de temps est nécessité par les diverses opérations de calcul et les manipulations de l'appareillage (voir planches hors-texte I

Fig. 3. — D'après nos résultats.



à III, reproduction de l'électrocardiogramme pris avant, pendant et après l'effort d'un de nos sujets, Fon...).

2. Protocole de mesure

Pour le dossier de chaque sujet il a été procédé de la façon suivante:

— Un premier temps consiste à contrôler à nouveau, lorsque les clichés sont secs et numérotés, que le moment où ils ont été pris coïncide bien avec les temps de systole et de diastole sur l'électrocardiogramme enregistré simultanément.

A ce propos, on peut remarquer les difficultés techniques que présente la prise des clichés en systole et en diastole pendant l'effort, puisque au cours de l'accélération cardiaque aux alentours de 180 révolutions par minute, les sommets de P et de T ne sont plus séparés que par environ 10/100e de seconde.

— Dans un deuxième temps, on vérifie que, malgré toutes les précautions prises (grande distance focus-plaque et dos accolé à la cassette), il n'existe pas d'agrandissement notable d'un des clichés au cours de la même série.

— Dans un troisième temps, on compare les trois systoles et les trois diastoles entre elles (repos-effort-après l'effort), en tenant le plus grand compte des variations de hauteur des coupoles diaphragmatiques. Lorsque la superposition des clichés ne permet pas de les comparer valablement entre eux, on est amené à réaliser une sorte de calque, y reportant les contours des clichés successifs et corrigeant ainsi les erreurs qui auraient pu être introduites par de menus changements de position du sujet. On détermine ainsi les axes DG′ et GD′ de l'ellipsoïde frontal.

Pour les profils, le problème est plus difficile en raison des superpositions bronchiques et de la coïncidence de la limite antérieure du cœur avec la paroi thoracique. En réalité, comme l'ont déjà remarqué plusieurs auteurs (Ruosteenoja, Pallardy et Hourcade), nous avons constaté une fois de plus que les dimensions du diamètre antéropostérieur de cette ellipse n'accusent que des variations très

faibles et, par là, négligeables. Chaque fois que cette variation s'est révélée tant soit peu importante, nous avons constaté qu'elle correspond en fait à une petite rotation du cœur ou même de l'ensemble du thorax par rapport au plan du cliché. Partant de ces constatations nous avons, à quelques rares exceptions près, considéré pour un même sujet cette dimension comme constante.

D'après cet exposé, on ne manquera pas de remarquer les nombreuses difficultés et par là les causes d'erreur qui se présentent aussi bien dans la prise des clichés que dans les mensurations du cœur. Aussi avons-nous été amenés à éliminer impitoyablement tous les dossiers qui pouvaient être mis en doute, par exemple en raison de : imprécision du moment de prise des clichés, erreurs de temps, clichés défectueux soit par agrandissement, soit par changement de position du sujet, soit encore par déplacement trop grand des coupoles. Et de ce fait, sur l'ensemble des sujets examinés, nous n'avons retenu que seize dossiers.

— V —

RÉSULTATS DES MESURES DES SYSTOLE ET DIASTOLE AU REPOS

Comme l'avaient fait de précédents auteurs, et puisqu'il nous était nécessaire d'avoir des clichés de repos à titre de référence, nous avons mesuré les variations de volume entre systole et diastole au repos. Nous avons d'ailleurs trouvé des résultats équivalents à ceux de PALLARDY et de HOURCADE en 1961; c'est-à-dire que si l'on se rapporte aux tableaux ci-joints on constate que les différences de volume vont de 1 à 13 %, avec une moyenne de 8 %.

Il n'est bien entendu pas possible de tenir compte de ces variations pour une appréciation éventuelle de l'ondée systolique car, outre le calcul d'erreur qui montre qu'il ne faut pas tenir compte des variations inférieures à 5 %, nous prenons par définition comme systole et comme diastole la systole et la diastole ventriculaires, négligeant ainsi celles des oreillettes qui varient en sens contraire, bien qu'intervenant en fait dans le calcul du volume cardiaque global (tableau I).

TABLEAU I

Sujets	VOLUMES CARDIAQUES AU REPOS (cm^3)			
	Diastole	Systole	Différence en ml	Pourcentage
JAH...	885	865	20	2 %
LAN...	754	690	65	9 %
HOU...	906	847	59	7 %
STE...	760	700	60	9 %
RAI...	736	654	82	13 %
FON...	680	639	41	6 %
HAC...	844	800	44	5 %
MAG...	643	593	50	8 %
JAC...	689	641	48	7 %
GAR...	786	716	70	10 %
GIL...	632	572	60	10 %
PAG...	766	713	53	7 %
REN...	821	810	11	1 %
GAI...	574	529	45	6 %
PIE...	567	520	47	9 %
GÉO...	718	692	26	4 %

— VI —

RÉSULTATS DES MESURES DES SYSTOLE ET DIASTOLE PENDANT ET IMMÉDIATEMENT APRÈS L'EFFORT

Après avoir montré les planches hors textes IV et V, à l'aide de reproductions photographiques, l'installation du sujet sur la bicyclette ergométrique, nous exposons nos tableaux de mesure des volumes cardiaques au repos, pendant et après l'effort (tableaux II, III et IV). Enfin, nous présentons (planches hors texte VI, VII et VIII) les reproductions des clichés radiologiques de l'un de nos sujets, Lan... Le format malheureusement trop petit de ces reproductions rend, à notre grand regret, leur lecture très délicate. C'est pourquoi nous nous permettons de présenter également des calques à l'échelle 1/2 des clichés d'un autre sujet, Gal..., pensant que ces calques seraient plus démonstratifs (fig. 4, 5, 6 et 7).

TABLEAU II

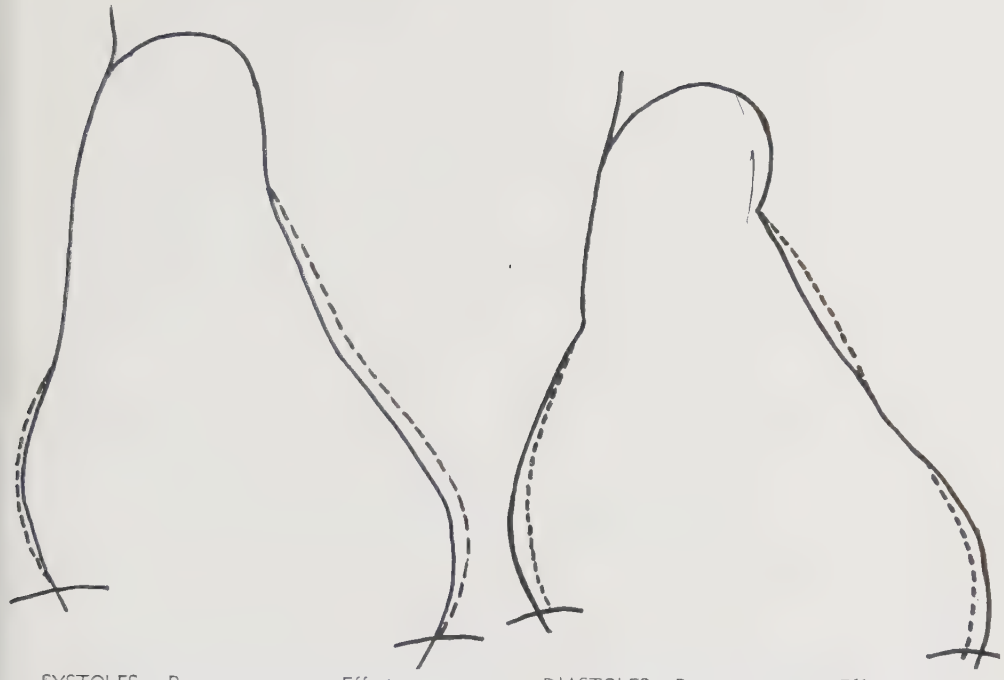
SUJETS	VOLUMES CARDIAQUES (cm^3)						Rythme cardiaque	Effort		Remarques
	Repos		Effort		Après effort			Intensité (kgm)	Durée (mn)	
	S	D	S	D	S	D				
Jac...	641	689	619	655			100 160	600	15	
Gar...	716	786	714	752			70 150	700	15	
Gil...	572	632	577	606			85 175	600	15	
Pag...	713	766	709	716			85 200	650	15	
Ren...	810	821	742	760	710	741	110 175 120	600	15	Sujet très fatigué
Gai...	529	574	559	563	497	513	100 175 110	600	10	
Pie...	520	567	543	560	498	534	100 180 110	500	15	Sujet très fatigué
Jah...	865	885	829	868	775	865	90 150 100	650	15	
Geo...	692	718	683	696	649	692	68 190 120	600	20	Sujet fatigué
Lan...	690	754	729	732	645	898	85 175 120	600	15	
Hou...	847	906	833	854	765	829	100 150 100	650	15	
Ste...	700	760	663	707	623	695	60 150 80	600	15	
Rai...	655	737	677	734	618	674	90 175 120	550	12	
Fon...	639	680	633	691	567	628	75 175 120	600	15	
Hac...	800	845	777	794	730	743	85 130 100	600	12	
Mag...	593	644	581	624	534	574	95 130 120	600	15	

TABLEAU III

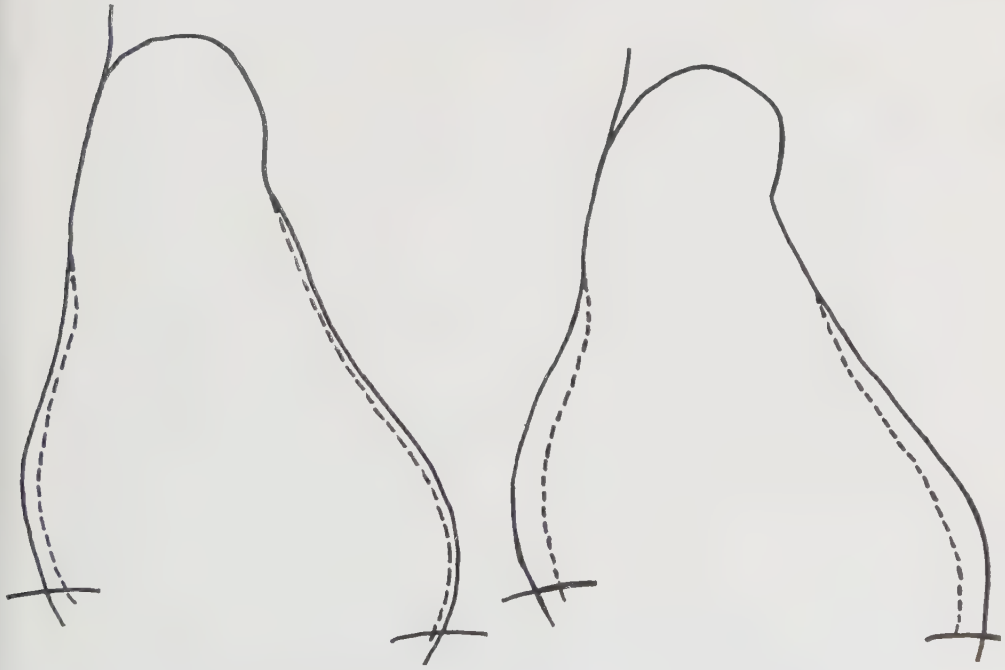
Sujets	VOLUMES SYSTOLIQUES COMPARÉS (cm^3)				
	Repos	Effort	Différence	Après effort	Différence
JAC.	641	619	— 3 %		
GAR.	716	714	0		
GIL.	572	577	+ 1 %		
PAG.	713	708	— 1 %		
REN.	810	742	— 9 %	710	— 12 %
GAI.	529	559	+ 6 %	497	— 6 %
PIE.	520	543	+ 4 %	498	— 4 %
GEO.	692	683	— 1 %	649	— 6 %
JAH.	865	829	— 4 %	775	— 10 %
LAN.	690	729	+ 6 %	645	— 7 %
HOU.	847	833	— 2 %	765	— 10 %
STE.	700	663	— 5 %	623	— 11 %
RAI.	655	677	+ 3 %	618	— 7 %
FON.	639	633	— 1 %	567	— 11 %
HAC.	800	777	0	730	— 9 %
MAG.	593	580	— 2 %	534	— 10 %
		Moyenne . .	— 0,4 %	Moyenne.	— 8,5 %

TABLEAU IV

	VOLUMES SYSTOLIQUES COMPARÉS (cm^3)				
	Repos	Effort	Différence	Après effort	Différence
JAC.	698	655	— 5 %		
GAR.	786	752	— 5 %		
GIL.	633	606	— 4 %		
PAG.	766	716	— 7 %		
REN.	821	760	— 7 %	741	— 10 %
GAI.	574	563	— 2 %	513	— 10 %
PIE.	567	559	— 1 %	534	— 6 %
GEO.	718	696	— 3 %	692	— 3 %
JAH.	885	868	— 2 %	865	— 2 %
LAN.	754	732	— 3 %	689	— 9 %
HOU.	906	854	— 6 %	829	— 8 %
STE.	760	707	— 7 %	695	— 9 %
RAI.	737	734	0	674	— 8 %
FON.	680	691	+ 2 %	628	— 9 %
HAC.	845	794	— 8 %	743	— 12 %
MAG.	644	624	— 3 %	574	— 11 %
		Moyenne . .	— 3,8 %	Moyenne.	— 8,1 %



SYSTOLES : Repos ———; Effort - - - - DIASTOLES : Repos ———; Effort - - - -



SYSTOLES : Repos ———; Après effort - - - DIASTOLES : Repos ———; Après effort - - -

Fig. 4, 5, 6 et 7. — Calque du contour cardiaque du sujet GAI... (Réduction 1/2).

— VII —

DISCUSSION DES RÉSULTATS

L'effort accompli par nos sujets est important comme en témoignent les signes cliniques de fatigue apparus chez eux (bien que tous soient sportifs entraînés) et la mesure de l'énergie dépensée en pédalage oscillant autour de 650 kgm/mn pendant quinze minutes en moyenne.

La lecture des tableaux montre que le cœur pendant l'effort présente peu de variations de volume par rapport au repos. Dans l'ensemble, le volume systolique ne bouge pratiquement pas, en moyenne il diminue de 0,4 %, tandis que le volume diastolique moyen présente à deux exceptions près une petite diminution de volume, en moyenne de 3,8 %.

Immédiatement après l'effort, il existe alors une concordance des résultats chez la totalité des seize sujets de notre expérience. Tous les résultats indiquent une diminution du volume cardiaque par rapport au repos. Cette diminution porte d'une façon comparable, aussi bien sur la systole que sur la diastole et ceci dans la même proportion de 8 % en moyenne.

Critique

Grâce au contrôle électrocardiographique, nous sommes absolument sûrs que les clichés des cœurs de nos sujets ont été pris au cours même d'un effort important. C'est la pre-

mière fois, à notre connaissance, que ce moment de prise de clichés a pu être contrôlé de façon aussi rigoureuse. Les différences des résultats obtenus par plusieurs auteurs: Nicolaï et Zuntz, Ruosteenoja, Zdansky, Williamson, Ackermann et nous-mêmes, peuvent s'expliquer par le fait qu'il semble que beaucoup d'entre eux ont assimilé les clichés pris *immédiatement après* l'effort à des clichés d'effort vrai.

D'ailleurs, ceux qui ont pris leurs clichés au cours même de l'effort, tels Liljestrand, Gauer, Mc Crea, Jonsell, Nylin, Sjöstrand, Kjellberg, ont obtenu des résultats assez proches des nôtres. Mais ils n'ont pas précisé suffisamment leur technique. Il nous est malheureusement difficile de comparer exactement nos résultats aux leurs. Peut-être n'avaient-ils pas le contrôle rigoureux du moment de prise des clichés.

CONCLUSIONS

Afin de déterminer le mécanisme de l'augmentation de l'ondée systolique au cours de l'effort dynamique, nous avons examiné seize sujets à l'aide d'un dispositif nous permettant d'apprécier le volume du cœur lors de la systole et de la diastole. Ce dispositif est constitué de deux plaques placées à angle droit sur un support et permettant de prendre des téléradiographies instantanées simultanées en frontal et en sagittal, par déclenchement électronique et avec contrôle électrocardiographique du moment de prise des clichés.

De cette étude portant sur seize sujets effectuant un travail dynamique d'environ 650 kgm/mn pendant quinze minutes, il résulte qu'il n'y a pas d'augmentation significative du volume du cœur pendant l'effort dynamique au cours de la phase diastolique. Au contraire, la tendance à la variation se fait vers la diminution du volume diastolique. Cette diminution est de l'ordre moyen de 3,8 %. Mais, chez certains sujets elle est nettement significative puisqu'elle atteint 7 et 8 %, ce qui représente un abaissement de capacité de 53 et 54 cm^3.

Tandis que certains sujets accusent une diminution de volume systolique allant jusqu'à 9 %, soit une baisse de capacité de 68 cm^3, d'autres au contraire augmentent leur volume systolique jusqu'à 6 %, ce qui représente une élévation de capacité de 29 et 30 cm^3.

Donc, si une variation apparaît plus nette que l'autre, c'est

plutôt la baisse du volume cardiaque pendant la diastole. Un tel fait mérite donc d'être pris en considération, puisqu'il tend à démontrer que, loin d'étirer sa fibre, le muscle cardiaque à l'effort a plutôt tendance à la rétracter.

L'augmentation du débit systolique ne se produirait donc pas en application de la loi de STARLING mais en raison d'un autre phénomène mettant directement en cause la fonction tonique du myocarde.

Les variations du volume du cœur dans la phase de récupération qui suit l'effort se font dans le sens d'une diminution. Celle-ci est significative puis les volumes systolique aussi bien que diastolique sont de 8 % inférieurs en moyenne aux volumes systolique et diastolique estimés au repos avant le travail.

Cette notion n'est pas nouvelle et l'on sait que cette diminution de volume du cœur après l'effort est attribuée à l'adrénaline (travaux de LILJESTRAND). Il est donc fort possible que ce soit cette même action qui, pendant l'effort, soit responsable de l'accroissement du tonus myocardique. Celui-ci permettrait, grâce à une expulsion plus grande du sang résiduel, une augmentation de l'ondée systolique sans qu'il y ait forcément amélioration du remplissage.

VU : *Le Président de Thèse,*

Pr. P. CHAILLEY-BERT

VU : *Le Doyen,*

Pr. L. BINET

VU :
et permis d'imprimer :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

J. ROCHE.

BIBLIOGRAPHIE

Achelis (W.)
Orthodiagraphische Herzuntersuchen bei Tuberkulösen.
Deutsches Arch. Klein. Med. Leipzig, 1911, p. 353.

Bardeen (C. R.)
Tables for aid in the determination of the relative size of the heart by means of the Roentgen Rays.
Am. J. Roentgenol. NY, **4** : 604. - 1917.

Bardeen (C. R.)
Determination of the size of the heart by means of the X Rays.
Am. J. Anat. Philad., **23** : 423. - 1918.

Beckner (G. L.) et Winsor (T.)
Cardiovascular adaptation to prolonged physical effort.
Circulation, **9** : 835. - 1954.

Benéke (F. W.)
Ueber das Volumen des Herzens und die Weite der Arteria Pulmonalis und Aorta Ascendens in den Verschiedenen Lebensaltern.
Schrift. d. Gesellschaft z. Beforderung d. ges. Naturwissenchaften zu Marburg, Suppl. 2. - 1879.

Bernuth (von F.)
Radiologische Untersuchungen über die Herzgrösse im Kindesalter.
Ergbn. d. inn. Med. u. Kinderh., **39** : 69. - 1931.

Biorck (G.)
Relationship between heart volume and various physical factors.
Acta radiol., **25** : 372. - 1944.

Boigey
Le cœur pendant l'exercice physique (examen radioscopique).
Presse Méd., **29** : 654. - 1921.

Bollini (V.)
La determinazione radiologica delle dimensione del cuore in 300 maschi ventenni.
Radiol. Med., **20** : 1021. - 1933.

Bollini (V.)
Confronti cardio-volumetrici sul viventi con metodo della radioplastica e colla formula orthodiagrafica del Salotti (Nota preventiva).
Riv. di Radiol. e Fis. med., **7** : 109. - 1933.

Bordet (E.)
La dilatation physiologique du cœur (étude radiologique).
Arch. mal. du cœur, **16** : 108. — 1923.

Bordet (E.) et Giroux
Rapport des accroissements de l'ombre du cœur aux augmentations réelles de son volume.
Arch. mal. du cœur, **17** : 494. — 1924.

Braunwald (E.), Kelly (E. R.) et Bullock (F. A.)
The effects of exercise on central blood volume in man.
J. Clin. Invest., **39** : 413. - 1960.

Broustet (P.)
Etude du volume cardiaque par tomographies axiales transverses.
J. radiol. et électrol., **36** : 770. - 1955.

Broustet (P.), Wangermer (C.), Duhamel (J.), Martin (P. L.), Bricaud (H.) et Fontanille (P.)
Etude comparative des résultats des mesures du volume cardiaque par la méthode de stratigraphie axiale transverse et les méthodes géométriques téléradiographiques.
J. radiol. et électrol., **41** : 417. - 1960.

Bruns (O.)
Herzgrösse und Muskelarbeit.
Ergebn. d. inn. Med. und Kindh., **34** : 201. - 1928.

Budelmann (G.)
Measurement of heart volume in clinical practice.
Acta Med. Scandinav., supp. 227, **145** : 25. - 1953.

Cassinis (V.)
Modificazioni della grandezza del cuore dopo la corso in militari in allenamento.
Gior. di med. mil., **80** : 361.

Chailley-Bert (P.)
Sports, éducation physique : leurs réactions sur l'appareil circulatoire.
Baillière édit., 1961.

Chailley-Bert (P.) et Plas (F.)
Physiologie des activités sportives.
Baillière édit., 1962, p. 238.

Chapman (C. B.), Baker (O.) et Mitchell (J. H.)
Left ventricular function at rest and during exercise.
J. Clin. Invest., **38** : 1202. - 1959.

CHRISTENSEN (E. H.)
Beiträge zur physiologie schwerer körperlicher Arbeit V. Mitteilung Minutenvolumen und Schlagvolumen des Herzens während schwerer körperlicher Arbeit.
Arbeitphysiologie, **4** : 470. - 1931.

CIGNOLINI (P.)
Lo studio radiologico della volumetria cardiaca : proposto di un nuovo metodo e suo controllo anatomico.
Cuore e circolaz., **12** : 405. - 1928.

COMEAU (W. J.) et WHITE (P. D.)
Critical analysis of standard methods of estimating heart size from roentgen measurements.
Am. J. Roentgenol., **47** : 665. - 1942.

DEUTSCH (F.)
Die Sportherzverkleinerung.
Med. Klin., **25** : 628. - 1929.

DEXTER (L.), WHITTENBERGER (J. L.), HAYNES (F. W.), GOODALE (W. T.), GORLIN (R.) et SAWYER (C. G.)
Effects of exercise on circulatory dynamics of normal individuals.
J. Appl. Physiol., **3** : 439. - 1951.

DIAZ NIELSEN (J. R.)
El tamaño normal del corazon dal niño en la teleradiografia.
Arch. argent. de pediat., **20** : 85. - 1943.

DIETLEN (H.)
Fortschritte in der Röntgendiagnostik des Herzens.
Münch. med. Wschr., **82** : 1878. - 1935.

DODGE (H. T.) et TANNENBAUM (H. L.)
Left ventricular volume in normal man and alterations with disease (abstract).
Circulation, **18** : 1105. - 1958.

DONALD (K. W.), BISHOP (J. M.), CUMMING (G.) et WADE (O. L.)
The effect of exercise on the cardiac output and circulatory dynamics of normals subjects.
Cl. Sci., **14** : 37. - 1955.

DURAND (J.), DONATO (L.), PARKER (J. O.), ROCHESTER (D. F.) et COURNAND (H.)
Modifications du volume et du débit des deux ventricules au début de l'effort chez l'homme normal.
J. Physiol. Paris, **52** : 88. - 1960.

FABRE (H. C.)
L'effort et ses répercussions circulatoires. Etude expérimentale et clinique.
Thèse méd., Bordeaux, 1953, n° 140. — Ed. Drouillard, Bordeaux, 1953.

FEINBERG (H.)
Relationship between velocity of cardiac contraction and size of the heart : a hypothesis.
Nature, Londres, **19** : 1373. - 1961.

FONTANILLE (P.)
La mesure du volume cardiaque en pathologie par les méthodes radiologiques.
Thèse méd., Bordeaux, 1960, n° 217.

FORMAN (J.)
Rapport des phénomènes mécaniques et électriques de la contraction cardiaque. (Leur étude par cathétérisme simultané droit et gauche).
Thèse méd., Paris, 1958, n° 406.

FRIEDMAN (C. E.)
Heart volume, myocardial volume and total capacity of heart in certain diseases.
Acta Med. Scandinav. (supp. 257), **140** : 3. - 1951.

FUCHS (G.) et BAYER (O.)
Das Volumen des menschlichen Herzens und seine Bestimmung aus der Schichtaufnahme.
Wien. med. Wchnschr., **104** : 173. - 1954.

GAUER (O. H.)
Volume changes of the left ventricule during blood pooling and exercise in the intact animal. Their effects on the left ventricular performance.
Physiological Review, **35** : 143. - 1955.

GROBEL (P.)
Verwendbarkeit des Simultanschichtaufnahmenverfahrens zur Volumenbestimmung.
Thèse méd., Cologne, 62 p.

GURFINKEL (V. S.), MALKINE (V. B.), TSETLIN (M. L.) et KUDIAKOV
Radiographie du cœur pendant les phases du cycle cardiaque prises au hasard.
Vest. Rentgenol. Radiol., **36** : 25. - 1961.

HAMMER (G.)
Die Herzfläche als Masstab für die Herzgrössenbestimmung.
Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen, **38** : 684. - 1928.

HILBISCH (T. F.), MORGAN (R. H.)
Heart mensuration by roentgenologic methods.
Am. J.M. Sc., **224** : 586. - 1952.

HOURCADE (H.)
Etude des variations du volume du cœur pendant des efforts statiques, par téléradiographies instantanées prises simultanément de face et de profil, en systole et diastole, sous contrôle électrocardiographique.
Thèse méd. Paris, 1961, n° 252, 47 p.

JONSELL (S.)
Method for the determination of the heart size by teleroentgenography (A heart volume index).
Acta Radiol., **20** : 325. - 1939.

KAHLSTORF (A.)
Ueber eine orthodiagraphische Herzvolumenbestimmung.
Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen, **45** : 123. - 1932.

KAHLSTORF (A.)
Möglichkeiten und Ergebnisse Röntgenologischer Herzvolumenbestimmungen.
Klin. Wchnschr., **17** : 223. - 1938.

KAHLSTORF (A.) et UDE (H.)
Die Aenderung von Herzvolumen und Schlagvolumen nach körperlicher Arbeit.
Ztschr. f. Klin. Med., **125** : 85. - 1933.

KARKASSIADES (D.)
Contribution à l'étude électrocardiographique du cœur après effort.
Thèse méd., Paris, 1954, n° 596, 14 p.

KIENBÖCK (R.), SELIG (A.) et BECK (R.)
Untersuchungen an Schwimmern.
München med. Wchnschr., **54** : 1427. - 1907.

KJELLBERG (S. R.), RUDHE (U.) et SJÖSTRAND (T.)
Hemoglobin content, heart volume and physical working capacity.
Nord. med., **41** : 717. - 1949.

KLASON (T.)
Roentgenological examination of the heart and an attempt to determine the heart's horizontal circumference.
Med. Rev. Bergen, **39** : 345. - 1922.

LILIENSTEIN
Das Orthometer, ein Masstab zur Grössenbestimmung des Herzens am Röntgenschatten.
München Med. Wchnschr., **70** : 1121. - 1923.

LILJESTRAND (G.), LYSHOLM (E.), ZACHRISSON (C.)
Normal heart volume in man.
Am. Heart Journal, **17** : 406. - 1939.

LILJESTRAND (G.), LYSHOLM (E.) et NYLIN (G.)
Immediate effects of muscular work on stroke and heart volume in Man.
Skandinav Arch. Physiol., **80** : 265. - 1938.

LIND (J.)
Determination of heart volume on infants.
Acta paediat (Supp. 277) : 144. - 1949.

LISCHITZ (L.)
Das Verhalten des Herzens bei sportlichen Maximalleistungen.
Inaug. Diss., Berlin, 1912.

LOVE (W. D.), O'MEALLIE (L. P.) et BURGH (G. E.)
Clinical estimation of the volum of blood in the right heart, left heart and lungs by the use of I 131 albumin 397.
Am. Heart Journal, **61** : 396. - 1961.

LYSHOLM (E.), NYLIN (G.) et QUARNA (K.)
The relation between the heart volume and stroke volume under physiological and pathological conditions.
Acta radiol., **15** : 237. - 1934.

Mc Crea (F. D.), Eyster (J.) et Meek (W. J.)
Effects of exercise upon diastolic heart size.
Am. J. Physiol., **83** : 678. - 1928.

Marshall (R. J.) et Sheperd (J. T.)
Interpretation of change in "central" blood volume and slope during exercise in man.
J. Clin. Invest., **40** : 375. - 1961.

Merlen (J. F.)
La loi de Starling est-elle applicable à l'homme normal?
Rev. Méd. Paris, **1** : 305. - 1960.

Michael Jr. (Ed.), Hutton (K. E.) et Horuath (S. M.)
Cardiorespiratory responses during prolonged exercise.
J. Appl. Physiol., **16** : 997. - 1961.

Moritz (F.)
Zur Beurteilung des Herzgrösse.
Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen, **38** : 993. - 1928.

Nylin (G.), Maurea (C.) et Sollberger (A.)
Normal heart volume.
Acta cardiol., **10** : 336. - 1955.

Nylin (G.)
The relation between heart volume and stroke volume in recumbent and erect positions.
Skandinav Arch. Physiol., **69** : 237. - 1934.

Nylin (G.)
Amount of and changes in size, residual blood of heart.
Am. Heart Journal, **25** : 598. - 1943.

Palmieri (G. C.)
Bemerkungen zu Artikeln der M. H. Berg und R. Schatzki, um Dreidimensionalen Herzdarstellung beziehungsweise Plastiche grössen und lagewahre Darstellung des Herzens.
Fortschr. a. d. Geb. d. Röntgenstrahlen, **39** : 498. - 1929.

Palmieri (G. C.)
Ueber eine Methode der plastichen Darstellung des Herzens über Lebenden (radioplastik).
Acta radiol., **10** : 127. - 1929.

Paterson (R. E.)
Experiment on effects of exercise on heart in athletes.
Am. Journal Roentgenol., **34** : 158. - 1935.

Ramos-Casellas (P.)
A plea for closer relations between Cardiologist and Roentgenologist. A modification of cardiac measurements.
J. Am. M. Ass. Chicago, **79** : 1406. - 1922.

Reindell (H.)
Phénomènes d'adaptation du cœur sain et du cœur malade.
Méd. Educ. Physique et Sports, **29** : 29. - 1955.

REINDELL (H.), WEYLAND (R.), KLEPZIG (H.) et MUSSKOFF (K.)
Ueber physiologische und pathophysiologische Grundlagen des Röntgendiagnostik des Herzens.
Deustche Med. Wchnschr., **80** : 540. - 1955.

RUOSTEENOJA (R.)
Studies on circulatory, respiratory and thermal adaptation during heavy exercise.
Acta physiol. Scandinav., **31** : 248. - 1954.

RUOSTEENOJA (R.), LINKO (E.), LIND (J.) et SOLLBERGER
Heart volume at rest and during exercise.
Acta Med. scand., **162** : 263. - 1958.

RUSHMER (R. F.)
Constancy of stroke volume in ventricular responses to exertion.
Am. Journ. Physiol., **196** : 745.

RUSHMER (R. F.)
Applicability of Starling's law of the heart to intact, unanesthetized animals.
Physiol. Rev., **55** : 138. - 1955.

RUSHMER (R. F.), SMITH (O.) et FRANKLIN (D.)
Mechanisms of cardiac control in exercise.
Circulation Res., **7** : 606. - 1959.

SHOTT
Zur Frage der akuten Herzüberanstrengung.
München med. Wchnschr., **55** : 952. - 1908.

SIMON (D.)
Les variations du volume cardiaque à l'effort intense et répété.
Thèse méd., Paris, 1961, n° 87, 44 p.

SJÖSTRAND
Physiologic and pathologic variations of roentgenologically determined heart volume.
Acta med. Scandin. (Supp. 227), **145** : 30. - 1953.

SMITH (H. W.) et BLOEDORN (W. A.)
The size of the normal heart. A teleroentgen study.
U. States Nav. M. Bull. Wash., **140** : 225. - 1922.

STARLING (E. H.)
The law of the heart.
Nature (Londres), **119** : 13. - 1922.

THOMPSON Jr (H. K.), BERRY (J. N.), Mc INTOSH (H. D.) et DURHAM (N. C.)
Circulatory reponses to hyperventilation and exercise in normal subjects.
Am. Heart Journal, **63** : 106. - 1962.

TYSON (R. M.) et BORZELL (F. F.)
Preliminary observations on cardiac measurements in children.
Am. Journ. Roentgenol, **10** : 559. - 1933.

WANG (Y.), MARSHALL (R. J.) et SHEPERD (J. T.)
The effect of changes in posture and of graded exercise on stroke volume in man.
J. Clin. Invest., **39** : 1051. - 1960.

WEISS (K.)
Ueber Methodik und Ergebnisse der röntgenologischen Herzgrössenbestimmung.
Wien. Klin. Wchnschr., **46** : 113. - 1933.

WHITE (P. D.), KING (R. L.) et JENKS Jr (J.)
Relation of heart size to time intervals of heart beats with particular reference to elephant and whale.
New England J. Med., **248** : 69. - 1953.

WIGGERS (C. J.) et KATZ (L. N.)
Contour of ventricular curves under different conditions.
Am. Journal Physiol., **58** : 439. - 1922.

WITTENBORG (M. H.) et SOSSMAN (H. C.)
Heart measurements by X ray.
Mod. concepts cardiovasc. dis., **16**. - 1947.

ZDANSKY (E.)
Ueber die Veränderungen der Herzgrössen und —Form nach einmaliger Arbeitsleitung.
Ztschr. f. Klin. Med., **131** : 112. - 1936.

Ets BUSSON, imp., 117, r. des Poissonniers, Paris Novembre 1962
Dépôt légal : 1962/4e trim.; n° 3 339